

PATENT ABSTRACTS OF JAPAN

(11)Publication number : **2002-116132**

(43)Date of publication of application : **19.04.2002**

(51)Int.Cl.

G01N 13/16

G01B 7/34

G01B 21/30

(21)Application number : **2000-305135**

(71)Applicant : **CANON INC**

(22)Date of filing : **04.10.2000**

(72)Inventor : **SHITO SHUNICHI**
ITSUJI TAKEAKI

**(54) SIGNAL DETECTION APPARATUS, SCANNING ATOMIC FORCE MICROSCOPE
CONSTRUCTED OF IT, AND SIGNAL DETECTION METHOD**

(57)Abstract:

PROBLEM TO BE SOLVED: To provide a signal detection apparatus enabling simplification of a mechanism for detecting the displacement of a probe and simplification of the arrangement of a detection system even if a plurality of probes are in use, thus enabling a space saving, a scanning atomic force microscope constructed of the detection apparatus, and a signal detection method.

SOLUTION: In the signal detection apparatus detecting an atomic force acting between a probe and a sample and measuring the unevenness or electric characteristic of the sample surface from changes in signals, the probe is driven by an electrostatic force working between a plate electrode on the support base of the probe and another plate electrode provided oppositely to the former electrode on the probe and the displacement of the probe is detected from changes in electrostatic capacitance between the electrodes.

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-116132

(P2002-116132A)

(43) 公開日 平成14年4月19日 (2002.4.19)

(51) Int.Cl. ⁷	識別記号	F I	テーマコード* (参考)
G 0 1 N 13/16		G 0 1 N 13/16	A 2 F 0 6 3
			C 2 F 0 6 9
G 0 1 B 7/34		G 0 1 B 7/34	Z
21/30		21/30	

審査請求 未請求 請求項の数12 O L (全 7 頁)

(21) 出願番号 特願2000-305135(P2000-305135)

(22) 出願日 平成12年10月4日(2000.10.4)

(71) 出願人 000001007

キヤノン株式会社

東京都大田区下丸子3丁目30番2号

(72) 発明者 紫藤 俊一

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(72) 発明者 井辻 健明

東京都大田区下丸子3丁目30番2号 キヤ
ノン株式会社内

(74) 代理人 100105289

弁理士 長尾 達也

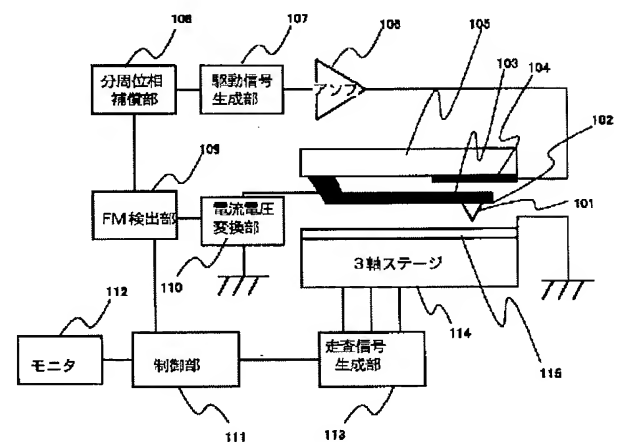
最終頁に続く

(54) 【発明の名称】 信号検出装置、該信号検出装置によって構成した走査型原子間力顕微鏡、および信号検出方法

(57) 【要約】

【課題】プローブ変位検出のための機構を簡単化することができ、また複数のプローブを用いる場合においても検出系の構成を簡便化することができ、省スペース化を図ることが可能な信号検出装置、該信号検出装置によって構成した走査型原子間力顕微鏡、および信号検出方法を提供する。

【解決手段】プローブと試料との間に働く原子間力を検出し、それらの信号の変化から該試料表面の凹凸あるいは電気特性を測定する信号検出装置において、前記プローブを、該プローブの支持基板上の平板電極と、それに対向して設けられた該プローブ上の平板電極との間に働く静電力によって駆動し、該電極間の静電容量の変化から、前記プローブの変位を検出するように構成する。



【特許請求の範囲】

【請求項1】プローブと試料との間に働く原子間力を検出し、それらの信号の変化から該試料表面の凹凸あるいは電気特性を測定する信号検出装置において、前記プローブを、該プローブの支持基板上の平板電極と、それに対向して設けられた該プローブ上の平板電極との間に働く静電力によって駆動し、該電極間の静電容量の変化から、前記プローブの変位を検出する機構を有することを特徴とする信号検出装置。

【請求項2】前記プローブの変位を検出する機構が、該プローブ上の平板電極を流れる電流を検出するための電流検出部と、該電流検出部で測定した電流値の周波数を測定する周波数測定部と、該周波数測定部で測定した周波数の既定倍の周波数の信号を、位相の変化を加えて発生させる信号発生器と、該信号発生器の信号を増幅し該プローブ支持基板上の平板電極に印加する信号増幅器と、該周波数測定部の周波数の変化を検出する信号検出部と、を有することを特徴とする請求項1に記載の信号検出装置。

【請求項3】前記周波数測定部の周波数変化を検出する信号検出部が、フェーズロックドループ（PLL）によって構成されていることを特徴とする請求項1または請求項2に記載の信号検出装置。

【請求項4】前記信号発生器が、測定した周波数の3分の1倍の周波数の信号を発生する構成を有することを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の信号検出装置。

【請求項5】前記信号発生器は、その出力振幅が入力の振幅にかかわらず常に一定となるように構成されていることを特徴とする請求項1～3のいずれか1項に記載の信号検出装置。

【請求項6】前記プローブの変位を検出する機構が、複数本のプローブを同時に駆動させる装置に設けられていることを特徴とする請求項1～5のいずれか1項に記載の信号検出装置。

【請求項7】原子間力が作用する程度まで試料に接近させ、プローブの撓みによって原子間力を検出し、さらに試料あるいはプローブを試料表面と平行な方向に走査することによって試料表面の凹凸を測定する機構を備えた走査型原子間力顕微鏡において、前記試料表面の凹凸を測定する機構を請求項1～6のいずれか1項に記載の信号検出装置によって構成したことを特徴とする走査型原子間力顕微鏡。

【請求項8】プローブと試料との間に働く原子間力を検出し、それらの信号の変化から該試料表面の凹凸あるいは電気特性を測定する信号検出方法において、前記プローブを、該プローブの支持基板上の平板電極

と、それに対向して設けられた該プローブ上の平板電極との間に働く静電力によって駆動し、該電極間の静電容量の変化から、前記プローブの変位を検出することを特徴とする信号検出方法。

【請求項9】前記プローブの変位の検出が、該プローブ上の平板電極を流れる電流を検出し、該電流検出部で測定した電流値の周波数を測定し、該周波数測定部で測定した周波数の既定倍の周波数の信号を、位相の変化を加えて発生させ、該信号発生器の信号を増幅し該プローブ支持基板上の平板電極に印加する一方、該周波数測定部の周波数の変化を検出することによって行うことを特徴とする請求項8に記載の信号検出方法。

【請求項10】前記周波数測定部の周波数変化を検出する信号検出部が、フェーズロックドループ（PLL）を用いて行われることを特徴とする請求項8または請求項9に記載の信号検出方法。

【請求項11】前記信号発生器が、測定した周波数の3分の1倍の周波数の信号を発生することを特徴とする請求項8～10のいずれか1項に記載の信号検出方法。

【請求項12】前記信号発生器は、その出力振幅が入力の振幅にかかわらず常に一定となることを特徴とする請求項8～10のいずれか1項に記載の信号検出方法。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、信号検出装置、該信号検出装置によって構成した走査型原子間力顕微鏡、および信号検出方法に関し、探針と試料を接近させることによって生じる物理現象、特に探針と試料との間に働く原子間力を測定し、それらの信号の変化から観察対象物表面の微細な凹凸や微小領域の電気特性を測定する装置に関する。

【0002】

【従来の技術】近年、探針と試料とを接近させ、その時に生じる物理現象（トンネル現象、原子間力等）を利用して、物質表面及び表面近傍の電子構造を直接観察できる走査型プローブ顕微鏡（以下SPMと略す）が開発され、単結晶、非晶質を問わず様々な物理量の実空間像を高い分解能で測定できるようになっている。中でも走査型原子間力顕微鏡（以下AFMと呼ぶ）はプローブ先端の原子と試料上の原子との間の微弱な作用力（原子間力：Atomic Force）を検出して試料表面の凹凸を測定するために、プローブや試料に導電性や磁性等の特殊な性質を必要とせず、絶縁物とりわけ最近では有機物等の形状の測定等に効力を発揮している。また、AFMには大きく分けて、原子間力が斥力の状態で用いるものと引力の状態で用いるものと2種類があり、前者をコンタクトモードAFM、後者をノンコンタクトモードAFMと言うことがある。

【0003】コンタクトモードAFMは測定対象とプローブ先端との斥力を測定する。この場合の斥力はプロー

ブと測定対象表面との距離変化に対して非常に大きく変化し、したがってその力を受けるプローブの撓みの変化量が大きく感度が大きいために測定システムへの負荷が小さくて済む。しかしながら、プローブと測定表面は非常に接近しており、その力は測定表面やプローブに時として弾性変形以上の影響を与え、試料やプローブ先端に損傷を与えることがある。前述の有機物、とりわけ生体物質など柔らかい試料の測定に対してはその影響が大きく、プローブが測定対象物を変形したり破壊したりするために精度良い観察ができない。

【0004】一方、ノンコンタクトモードAFMはプローブ先端と測定対象表面との間の原子間引力を測定するが、その引力は、プローブ先端と測定対象表面との距離がコンタクトモードより大きい状態から働くために、プローブ先端と測定対象表面の両方に対する影響が非常に小さい。したがって、コンタクトモードAFMは上記のコンタクトモードAFMの欠点を持たないため、柔らかい試料の測定には有用である。

【0005】しかしながら、ノンコンタクトモードの欠点として、力の変化がプローブ先端と試料表面との間の距離変化に対してあまり敏感でないことが挙げられる。そのために一般的にはプローブを既定の周波数で微小振動させ、微小引力がプローブ先端に働いた場合の振動状態の変化（周波数ずれや位相ずれ等）をモニタすることにより間接的に測定している。そのため、当然のことながら測定システムは複雑になり、また加えてプローブを振動させるための加振機構も必要になっている。また、現在最も一般的に用いられているAFMは両モードともに光てこ方式を用いている。（たとえばT. R. Albrecht, J. Appl. Phys. 69 (2) 668参照）数10～数100 μ mの長さのカンチレバーの先端にレーザ光を照射し、その反射光の方向を測定することによって、レバーが試料からの原子間力を受けた時の微小なたわみ量をこの原理で拡大し、測定できるように構成されている。したがって光てこ方式は、ある程度の感度を出すためにレバーと反射光検出センサ（2分割フォトダイオード等）と間にある一定の光学的距離を必要とする。これは、プローブ周りの測定スペースを大きくするばかりでなく、同時に複数本のプローブを動作させて測定速度を向上させる場合には大きな障害となっている。

【0006】

【発明が解決しようとする課題】上述したように、プローブと測定試料にダメージを与えずに測定効率を上げるためには、ノンコンタクトAFM方式を用いて、かつ複数本のプローブを同時に動作させることが必要となる。ところが、ノンコンタクトAFMを動作させるときには、通常、プローブの共振周波数で振動させることが、Q値も高く最も効率が良いとされている。したがって、複数のプローブを同時にノンコンタクトモードで動作さ

せるためには、プローブそれぞれの共振周波数で振動させる必要がある。つまり、プローブそれぞれに駆動機構を作らなければならないという問題がある。また、前述したように複数本のプローブの変位量を光てこ方式により検出するのは、プローブ周りの光学系が非常に複雑になるばかりでなく、装置自体も大きな物となってしまっていた。

【0007】そこで、本発明は、プローブ変位検出のための機構を簡単化することができ、また複数のプローブを用いる場合においても検出系の構成を簡便化することができ、省スペース化を図ることが可能な信号検出装置、該信号検出装置によって構成した走査型原子間力顕微鏡、および信号検出方法を提供することを目的とするものである。

【0008】

【課題を解決するための手段】本発明は、上記課題を達成するために、つぎの(1)～(12)のように構成した信号検出装置、該信号検出装置によって構成した走査型原子間力顕微鏡、および信号検出方法を提供するものである。

(1) プローブと試料との間に働く原子間力を検出し、それらの信号の変化から該試料表面の凹凸あるいは電気特性を測定する信号検出装置において、前記プローブを、該プローブの支持基板上の平板電極と、それに対向して設けられた該プローブ上の平板電極との間に働く静電力によって駆動し、該電極間の静電容量の変化から、前記プローブの変位を検出する機構を有することを特徴とする信号検出装置。

(2) 前記プローブの変位を検出する機構が、該プローブ上の平板電極を流れる電流を検出するための電流検出部と、該電流検出部で測定した電流値の周波数を測定する周波数測定部と、該周波数測定部で測定した周波数の既定倍の周波数の信号を、位相の変化を加えて発生させる信号発生器と、該信号発生器の信号を増幅し該プローブ支持基板上の平板電極に印加する信号増幅器と、該周波数測定部の周波数の変化を検出する信号検出部と、を有することを特徴とする上記(1)に記載の信号検出装置。

(3) 前記周波数測定部の周波数変化を検出する信号検出部が、フェーズロックドループ(PLL)によって構成されていることを特徴とする上記(1)または上記(2)に記載の信号検出装置。

(4) 前記信号発生器が、測定した周波数の3分の1倍の周波数の信号を発生する構成を有することを特徴とする上記(1)～(3)のいずれかに記載の信号検出装置。

(5) 前記信号発生器は、その出力振幅が入力の振幅にかかわらず常に一定となるように構成されていることを

特徴とする上記(1)～(3)のいずれかに記載の信号検出装置。

(6) 前記プローブの変位を検出する機構が、複数本のプローブを同時に駆動させる装置に設けられていることを特徴とする上記(1)～(5)のいずれかに記載の信号検出装置。

(7) 原子間力が作用する程度まで試料に接近させ、プローブの撓みによって原子間力を検出し、さらに試料あるいはプローブを試料表面と平行な方向に走査することによって試料表面の凹凸を測定する機構を備えた走査型原子間力顕微鏡において、前記試料表面の凹凸を測定する機構を上記(1)～(6)のいずれかに記載の信号検出装置によって構成したことを特徴とする走査型原子間力顕微鏡。

(8) プローブと試料との間に働く原子間力を検出し、それらの信号の変化から該試料表面の凹凸あるいは電気特性を測定する信号検出方法において、前記プローブを、該プローブの支持基板上の平板電極と、それに対向して設けられた該プローブ上の平板電極との間に働く静電力によって駆動し、該電極間の静電容量の変化から、前記プローブの変位を検出することを特徴とする信号検出方法。

(9) 前記プローブの変位の検出が、該プローブ上の平板電極を流れる電流を検出し、該電流検出部で測定した電流値の周波数を測定し、該周波数測定部で測定した周波数の既定倍の周波数の信号を、位相の変化を加えて発生させ、該信号発生部の信号を増幅し該プローブ支持基板上の平板電極に印加する一方、該周波数測定部の周波数の変化を検出することによって行うことを特徴とする上記(8)に記載の信号検出方法。

(10) 前記周波数測定部の周波数変化を検出する信号検出部が、フェーズロックドループ(PLL)を用いて行われることを特徴とする上記(8)または上記(9)に記載の信号検出方法。

(11) 前記信号発生器が、測定した周波数の3分の1倍の周波数の信号を発生することを特徴とする上記(8)～(10)のいずれかに記載の信号検出方法。

(12) 前記信号発生器は、その出力振幅が入力の振幅にかかわらず常に一定となることを特徴とする上記(8)～(10)のいずれかに記載の信号検出方法。

【0009】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態においては、上記した本発明の構成を適用して、例えばカンチレバーの振動を駆動電極間の静電容量変化として検出することによって、大きな光学系を用いることなくノンコンタクトAFMを実現することが可能となる。また、静電容量変化は小さく、振動の検出信号も小さいが、原子間力をレバーの共振周波数の変化を検出するFM検出を用いることにより、高感度に測定することが可能となる。これによって、プローブ変位検出のための機構が省スペースで

実現できるため、複数プローブに対しての検出系の構築の簡便化を図ることができる。

【0010】以下本発明の実施の形態について、図を用いて詳細に説明する。図1に示したものは、本発明の実施のためのシステム構成を示したブロック図である。探針101は電氣的な絶縁膜102を介して導電性カンチレバー103上に配してある。支持基板105上にはレバーと対向するように平板電極104がある。これらの電極やレバーは特開平07-021968号公報等に記載されている方法により半導体プロセスなどによって製作できる。静電力を駆動力とするプローブのレバー形状の一例を図2に示した。図2において、201、202は電極からの配線パターンである。

【0011】導電性カンチレバー103は電流検出部である電流電圧変換部110に接続されレバー103に流れる電流値を電圧信号として検出している。検出された電流値信号は後段の周波数検出部であるFM検出部109に入力される。FM検出部では入力された信号の周波数を検出し、その変動信号を制御部111に出力し、またその周波数信号そのものを分周位相補償部108に対して出力する。分周位相補償部108は受け取った周波数信号から指定した割合で分周した周波数信号を次段の駆動信号生成部107に送る。なお108は信号の位相も変化できるように構成されている。周波数と位相信号を受け取った駆動信号生成部107は指定された周波数および位相の正弦波を出力する。その出力された正弦波はアンプ106を通して増幅され支持基板上の平板電極104に出力される。

【0012】一方、制御部111はFM検出部109からの周波数変動信号から測定信号を生成しモニタ112等の出力部へ出力するとともにステージの3軸走査も行う。3軸ステージ114は走査信号生成部113により生成された試料(115)面方向2軸と面に垂直方向1軸の3つの走査信号により駆動されているが、それらをコントロールしているのが制御部111である。制御部111は探針101と試料115の距離をフィードバックにより制御している。ちなみに図1には示していないが、探針101と試料115の距離制御は駆動信号生成部107にて駆動信号に制御信号を足し合わせることで実現できる。その際はステージの制御は面方向2軸の走査と面に垂直方向の粗い接近動作を制御する。

【0013】上記システムの動作を説明する。導電性レバー103は電流電圧変換部110において少なくとも交流的には接地されており、従って支持基板上平板電極104に電圧を印加すると静電力によりレバー103は基板方向にたわむ。このとき104に印加する電圧はレバー103に対して正であっても負であってもレバー103は基板方向にたわむことを忘れてはならない。すなわち、駆動信号が交流信号の場合、駆動信号周波数の2倍の周波数でレバーには静電力が働くことになる。この

関係を図3の(b)で示した。点線と実線で表される正弦波が印加電圧で、実線のみで表される波形がそのときに生じる静電力の変化を示すものである。図3の(a)はレバー先端の振動を示しており、静止状態は横軸上である。このレバーを共振周波数で振動させるためには、共振周波数の半分の周波数の駆動信号を支持基板上平板電極104に印加する必要があるが、共鳴状態では図3の(a)と(b)に示したような関係になり、駆動信号は位相が90°進んだ形となっている。

【0014】次に探針が測定試料表面に接近してくると、探針先端と試料表面との間に引力が拘束力として働き始めるために共振周波数は高い方へずれることになる。しかしながら、FM検出部でずれた周波数を検出し、その信号に合わせて駆動信号を生成することで、たとえ共振点がずれても、いつでも共振周波数でレバーを駆動できるような駆動信号生成機構を構成している。因みに駆動信号生成部はその周波数は変化するが電圧レベルが一定の信号を生成している。

【0015】次に、共振周波数の検出のしくみについて説明する。レバー103及び支持基板105上電極の電気的な動作について説明するための図を図4に示した。下部電極は導電性レバー103を示し、微小変位1で振動しており、そのときの駆動電圧を v とする。電極間距離、すなわち支持基板上の平板電極と導電性レバーの距離の初期状態を l とする。駆動中に導電性レバーに流れる電流 i は以下の様に示されると考えられる。

$$i \cong C_1 e^{j\omega_1 t} - C_0 e^{j\omega_0 t} \quad \cdots \text{式1}$$

ここで

$$v = v_0 e^{j(\omega_0 t + \frac{\pi}{2})}$$

$$C = \frac{\epsilon S}{L + l e^{j\omega_1 t}}$$

； C は電極間容量。ここで前述したように $\omega_1 = 2\omega_0$ である

として、

ω_1 ：共振周波数

$$\omega_1 = \frac{3}{2} \omega_0$$

$$C_1 = \frac{v_0 \omega_1 \epsilon S l}{2 l^2}$$

$$C_0 = \frac{\omega_1 \epsilon S v_0}{2 L}$$

【0016】となり、 ω_1 の3分の2の周波数が共振周波数である。また、 ω_0 としては、 ω_1 の3分の1に合わせることで駆動信号を共振点に合わせることができる。 ω_1 の周波数は実信号なのでロックインアンプやFM検波器を用いることによって検出できるものである。図3で示すと、(c)が共振周波数の検出信号である。もちろん、式1の C_0 の項の振動も存在し、これはこの図3(c)の信号の数桁大きいものである。以上のような動作によって駆動信号およびAFM検出信号を、本発明の

系によって生成および検出できる。

【0017】

【実施例】つぎに、本発明の実施例について述べる。導電性レバーとして特開平07-021968号公報に記載の方法によって幅20 μ m、長さ60 μ m、厚さ10 μ mのレバーを作製した。またレバーと支持基板上の平板電極の間の距離は2 μ mで、レバーの絶縁膜として1 μ m厚の窒化シリコン膜を用い、レバーの導電性部はシリコンを $n+$ にドーブしたものをを用いた。探針はタングステンをスピント法により堆積したものをを用いている。探針高さはおよそ10 μ mであった。機械的な衝撃を加えて、このレバーの機械共振点をスペクトルアナライザで測定したところ300kHzとなっていた。

【0018】本実施例においては、上記構成を有するプローブを、前述した本発明の系に適用した。電流電圧変換部は高周波のトランジスタ回路を用いて、予め300kHz付近に通過域を持つ比較的Q値の高いバンドパスフィルタを通して電流電圧変換を行った。帯域に余裕があれば市販の演算増幅器などを用いて検出可能であるが、変換増幅率が10 9 と非常に高いために、ディスクリートの高速変換回路を作製する必要があった。FM検出部については、一般的なフェーズ・ロックド・ループ(PLL)回路を用い、周波数の変動分はPLLの電圧制御発信器(VCO)の制御電圧として検出し、共振周波数はVCOの出力波をそのまま分周器に送って3分の1分周を行った。分周後に位相を手動で補正し、アンプを通して支持基板上平板電極に印加した。このときアンプの出力は ± 150 Vの一定値になるように調整した。

【0019】FM検出器であるPLL回路から出力された変動分、すなわちプローブ先端と試料表面の間に働く引力に応じた信号は、制御回路として用いたパーソナルコンピュータ(PC)のA/D変換インターフェースに入力された。その際、プローブが試料に近づきすぎないようにPCによってステージをコントロールし両者の距離を一定にするように制御した。その制御量を基板凹凸としてPCのモニタに表示し観察した。すなわち原子間力を一定に保つように制御しその際の制御量をモニタする方式を用いた。

【0020】プローブの振動によって発生する電流信号はわずかに数pAであったが電流電圧変換部に設けたフィルタによって低ノイズで測定できた。走査速度は5 μ m/秒程度で行ったが、その際の分解能はほぼ10nmであった。またこの系を使用して有機膜(直鎖飽和脂肪酸系の単分子膜)を測定したが、測定によって試料を破壊したり、プローブ先端の変化により検出分解能が低下したりという現象は見られなかった。また、以上の結果より大スペースを必要とする光てこ方式の検出系に比べプローブ周りの構成を非常に簡単にできるため、複数本のプローブを同時に駆動させる系にも容易に対応できることが実証された。

10

20

30

40

50

【0021】

【発明の効果】以上に説明したように、本発明によれば、プローブ変位検出のための機構を簡単化することができ、複数のプローブを用いる場合においても検出系の構成を簡便化することができ、省スペース化を図ることが可能な信号検出装置、該信号検出装置によって構成した走査型原子間力顕微鏡、および信号検出方法を実現することができる。例えば、これによりカンチレバーの振動を駆動電極間の静電容量変化として検出するように構成することで、大きな光学系を用いることなくノンコンタクトAFMを実現することが可能となる。

【図面の簡単な説明】

【図1】本発明の実施の形態におけるシステム構成の一例を示すブロック図。

【図2】本発明の実施の形態における静電力を駆動力とするプローブのレバー形状の一例を示す図。

【図3】本発明の実施の形態におけるシステムの動作を説明するための各信号波形を示す図。

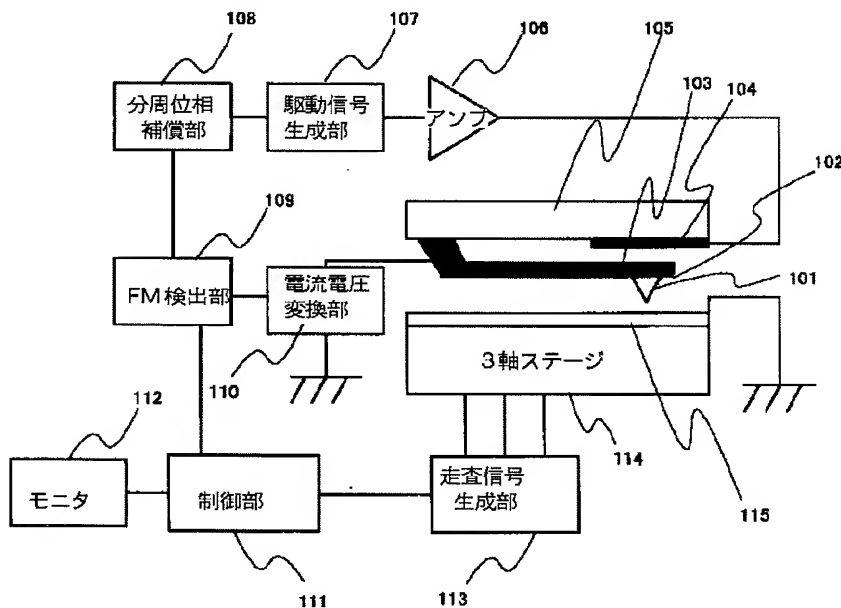
【図4】本発明の実施の形態におけるシステムの駆動電*

* 極間の電氣的な動作を説明するための図。

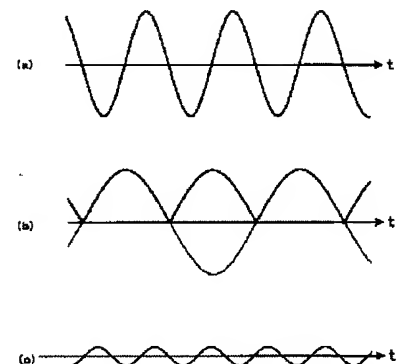
【符号の説明】

- 101：探針
- 102：絶縁膜
- 103：導電性カンチレバー
- 104：平板電極
- 105：支持基板
- 106：アンプ
- 107：駆動信号生成部
- 108：分周位相補償部
- 109：FM検出部
- 110：電流電圧変換部
- 111：制御部
- 112：モニタ
- 113：走査信号生成部
- 114：3軸ステージ
- 115：試料
- 201：電極からの配線パターン
- 202：電極からの配線パターン

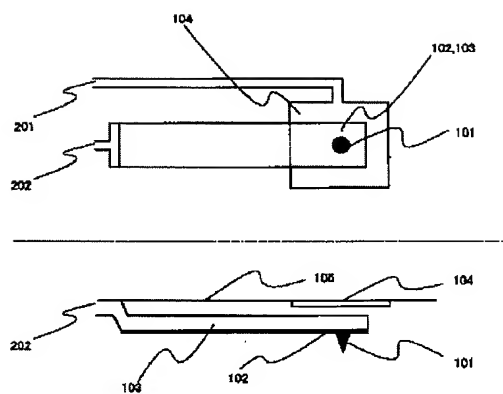
【図1】



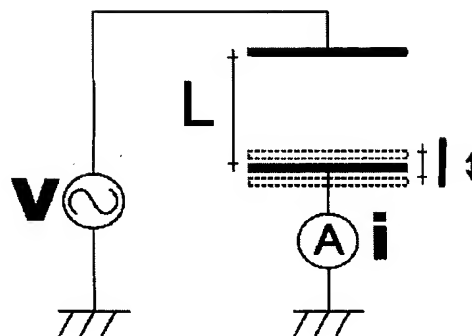
【図3】



【図2】



【図4】



フロントページの続き

F ターム(参考) 2F063 AA02 AA43 BB01 CA34 CA40
 DA01 DA04 DB04 DD02 DD06
 EA16 EB01 EB15 EB23 HA01
 HA20 LA01 LA04 LA11 LA29
 LA30 MA05
 2F069 AA57 AA60 BB40 GG04 GG06
 GG20 GG62 GG65 HH04 HH30
 LL03 MM24 NN00